

PCT/EP 03/07593

# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

Rec'd PCT/PTO 14 JAN 2005

10/521427

EP03/07593



## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 102 32 019.5

**Anmeldetag:** 16. Juli 2002

**Anmelder/Inhaber:** Silicon Vision AG i. Ins., Moritzburg/DE

**Bezeichnung:** TFA-Bildsensor mit stabilitätsoptimierter Photodiode

**IPC:** H 01 L 27/146

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 9. Oktober 2003  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

Scholz

**PRIORITY  
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)



## TFA-Bildsensor mit stabilitätsoptimierter Photodiode

Peter Rieve, Marcus Walder, Konstantin Seibel, Jens Prima, Arash Mirhamed  
Silicon Vision AG, Siegen

Die vorliegende Patentanmeldung betrifft ein optoelektronisches Bauelement zur Umwandlung elektromagnetischer Strahlung in einen intensitätsabhängigen Photostrom im Verbund mit einem optoelektronischen Sensor in Thin Film on ASIC (TFA)-Technologie. Ein derartiger TFA-Sensor besteht aus einer matrixorganisierten oder linearen Anordnung von Bildpunkten (Pixeln). Die elektronischen Schaltungen zum Betrieb des Sensors (z. B. Pixelelektronik, Peripherieelektronik, Systemelektronik) sind üblicherweise in CMOS-basierter Siliziumtechnologie realisiert und bilden einen anwendungsspezifischen integrierten Schaltkreis (ASIC). Durch eine isolierende Schicht hiervon getrennt und mittels entsprechender elektrischer Kontakte hiermit verbunden, befindet sich auf dem ASIC eine Mehrschichtanordnung als Photodiode, welche die Umwandlung elektromagnetischer Strahlung in einen intensitätsabhängigen Photostrom vornimmt. Dieser Photostrom wird an bestimmten, in jedem Pixel vorhandenen Kontakten der darunterliegenden Pixelelektronik übergeben (B. Schneider, P. Rieve, M. Böhm, Image Sensors in TFA (Thin Film on ASIC) Technology, ed. B. Jähne, H. Hausecker, P. Geißler, Handbook of Computer Vision and Applications, pp. 237-270, Academic Press, San Diego, 1999).

Nach dem Stand der Technik (J. A. Theil, M. Cao, G. Kooi, G. W. Ray, W. Greene, J. Lin, A.J. Budrys, U. Yoon, S. Ma, H. Stork, Hydrogenated Amorphous Silicon Photodiode Technology for Advanced CMOS Active Pixel Sensor Imagers; MRS Symposium Proceedings, vol. 609, 2000) wird als Photodiode eine pin-Konfiguration auf der Basis amorphen Siliziums verwendet, d. h. eine Folge aus einer p-leitenden, einer eigenleitenden (intrinsischen) und einer n-leitenden amorphen Siliziumschicht. Die n-Schicht bildet üblicherweise die unterste, dem ASIC zugewandte Schicht. Die elektrischen Kontakte werden auf dieser dem ASIC zugewandten Seite beispielsweise von einer Metallschicht gebildet, während die Kontaktierung auf der der Lichteinfallrichtung zugewandten Seite in der Regel durch eine transparente und leitfähige Schicht erfolgt. Über die genannte pin-Photodiode hinaus sind auch weitere Bauelementstrukturen möglich, z. B. Schottky-Photodioden, bei denen eine intrinsische Halbleiterschicht in Kontakt mit einem geeigneten Metall (beispielsweise Chrom, Titan, Platin, Palladium, Silber) gebracht wird, so daß der Metall-Halbleiter-Übergang eine Schottky-Photodiode bildet. Eine typische Schichtkonfiguration ist in der Patentanmeldung TFA-Bildsensor mit extrem niedrigem Dunkelstrom (Aktenzeichen 10063837.6) offenbart. Ferner sind Detektorstrukturen mit einer steuerbaren spektralen Empfindlichkeit bekannt (P. Rieve, M. Sommer, M. Wagner, K. Seibel, M. Böhm, a-Si:H Color Imagers and Colorimetry, Journal of Non-Crystalline Solids, vol. 266-269, pp. 1168-1172, 2000). Diese Grundstruktur eines TFA-Bildsensors kann darüber hinaus durch zusätzliche, in Lichteinfallrichtung vorgelagerte Schichten erweitert werden, beispielsweise durch Farbfilterschichten (z. B. Bayer-Pattern, US-Patent Nr. 3971065).

Wird als photoaktives Sensormaterial amorphes Silizium verwendet, so macht sich unter Umständen die bei diesem Material beobachtete Metastabilität bemerkbar.

Hydrogenisiertes amorphes Silizium ( $a\text{-Si:H}$ ) besteht aus einem Silizium-Wasserstoff-Atomverbund, dem eine Fernordnung, wie sie typisch für Halbleiterkristalle ist, fehlt. Es kommt gegenüber dem idealen Halbleiterkristall zu Modifikationen der atomaren Bindungsparameter. Dies hat zur Konsequenz, daß im Rahmen des Festkörper-Bändermodells eine von Null verschiedene Zustandssichte in der Bandlücke zwischen Leitungs- und Valenzband existiert, welche Auswirkungen auf die elektrischen und optischen Eigenschaften des Materials hat. Zustände in der Mitte der Bandlücke wirken vorwiegend als Rekombinationszentren, während Zustände in der Nähe der Bandkanten als Haftstellen (Traps) für Ladungsträger fungieren. Infolge von Lichteinstrahlung oder Injektion von Ladungsträgern, genauer gesagt durch Rekombination von injizierten Ladungsträgern, werden schwache Siliziumbindungen aufgebrochen, und es entstehen zusätzliche Bandlückenzustände.

Diese durch Lichtbestrahlung hervorgerufenen Bandlückenzustände stellen zusätzliche Rekombinations- bzw. Trappingzentren dar und beeinflussen den Ladungsträgertransport und die Verteilung der elektrischen Feldstärke in den aus amorphem Silizium hergestellten Bauelementen. Bei pin-Photodioden beispielsweise werden vorwiegend positiv geladene Zustände in dem an die p-Schicht angrenzenden Bereich der intrinsischen Schicht in Traps angereichert und negativ geladene Zustände im an die n-Schicht angrenzenden Bereich der i-Schicht. Diese ortsfesten Ladungen haben zur Folge, daß die Höhe der elektrischen Feldstärke im Innern der i-Schicht zurückgeht, so daß sich die Sammlung photogenerierter Ladungsträger verschlechtert. Eine effiziente Ladungsträgersammlung in pin-Photodioden aus amorphem Silizium ist dann gegeben, wenn die Driftlänge ( $\mu\tau E$ ) der Ladungsträger die Dicke  $d$  der intrinsischen Schicht deutlich übertrifft:

$$\mu\tau E \gg d$$

(1)

Infolge der mit der Lichteinstrahlung verbundenen Erhöhung der Defektdichte werden einerseits die Lebensdauer  $\tau$  durch verstärkte Rekombination von Ladungsträgern und andererseits das elektrische Feld  $E$  aufgrund der geladenen Zustände in der i-Schicht herabgesetzt. Beides hat zur Folge, daß sich das Verhältnis von Driftlänge zu i-Schichtdicke verringert und somit der Photostrom zurückgeht. Der Rückgang des Photostromes macht sich insbesondere dann bemerkbar, wenn die Photodiode nahe dem Kurzschlußpunkt ohne zusätzliche Sperrspannung betrieben wird, d. h. wenn lediglich die durch die dotierten Schichten hervorgerufene eingebaute Potentialdifferenz wirksam ist. Bei Anlegen von Sperrspannung hingegen verstärkt sich das elektrische Feld, so daß die Ladungsträgersammlung in geringerem Umfang beeinträchtigt wird. Die wesentliche Konsequenz der Lichtbestrahlung einer Photodiode aus amorphem Silizium in bezug auf den Photostrom besteht mithin in einer Minderung der Photostromsättigung.

Der Dunkelstrom einer  $a\text{-Si:H}$ -Photodiode, d. h. der Strom, der auch im unbeleuchteten Zustand fließt, wird ebenfalls durch die Degradation des Materials beeinflusst. Infolge der durch Lichteinstrahlung zusätzlich erzeugten Defektzustände nimmt bei in Sperrichtung betriebener Photodiode (Extraktion) die thermische Generation von Ladungsträgern zu, was sich in einer Erhöhung des Dunkelstromes niederschlägt.

Die durch die Lichteinstrahlung hervorgerufenen Veränderungen des Dunkel- und Photostromes werden erfindungsgemäß durch eine Verringerung der Dicke der intrinsischen Schicht gemindert. Diese Maßnahme bewirkt ein Anwachsen der elektrischen Feldstärke über der i-Schicht, so daß der durch die Erhöhung der Defektdichte infolge Lichteinstrahlung verursachte Feldstärkeeinbruch im Innern der i-Schicht weniger stark ausgeprägt ist. Auf diese Weise kann die durch Gleichung (1) gegebene Sammlungsbedingung für photogenerierte Ladungsträger auch im Zustand erhöhter Defektdichte (nach Lichteinstrahlung) eingehalten werden, und ein Rückgang der Photosensitivität wird vermieden. In bezug auf das Verhalten der Photodiode ohne Beleuchtung besitzen Photodioden mit geringer i-Schichtdicke im gealterten Zustand einen niedrigeren Dunkelstrom als solche mit dicker i-Schicht, was sich auf die geringere Anzahl von in der Bandlücke vorhandenen Generationszentren zurückführen läßt.

Das Verfahren, die Stabilität von Photodioden aus amorphem Silizium durch eine dünne Absorberschicht zu verbessern, ist aus dem Bereich der Photovoltaik bekannt, wo es erfolgreich bei Solarzellen auf der Basis amorphen Siliziums angewendet wird. Neu ist die Übertragung auf Bildsensoren in TFA-Technologie. Das Verfahren eignet sich sowohl bei Photodioden vom Typ pin oder nip als auch bei Schottkydioden. Als vorteilhaft in bezug auf die Stabilität der Photodiode hat sich eine Schichtdicke der intrinsischen Absorptionsschicht zwischen 300 nm und 600 nm erwiesen, vorzugsweise sollte sie ca. 450 nm betragen.

Eine vorteilhafte Weiterbildung besteht darin, den Bandabstand der intrinsischen Absorberschicht der Photodiode zu vergrößern. Auf diese Weise läßt sich der Dunkelstrom reduzieren, Gleichzeitig kann der mit der Reduzierung der i-Schichtdicke einhergehenden Erhöhung der Diodenkapazität entgegengewirkt werden. Technologisch kann die Vergrößerung des Bandabstandes beispielsweise durch Verwendung einer amorphen Silizium-Kohlenstoff-Legierung ( $a\text{-SiC:H}$ ) als Absorptionsschicht erfolgen.

Bei Photodioden mit geringer i-Schichtdicke spielt die Beschaffenheit der Oberfläche, auf der sich die Diode befindet, eine entscheidende Rolle für die Höhe des Dunkelstromes. Neben den bereits erwähnten thermischen Generationsströmen bilden Inhomogenitäten der ASIC-Oberfläche, welche ihre Ursache in den hierauf befindlichen Strukturen (Metallbahnen, Löcher in Passivierungsschicht, etc.) haben, eine weitere Quelle für unerwünscht hohe Dunkelströme bei TFA-Bildsensoren. Der Einfluß der Oberflächentopographie ist dabei umso stärker, je dünner die darauf befindliche Photodiode ist. Dazu ist es erforderlich, insbesondere die schichtdicke-reduzierte Photodiode auf einer möglichst planaren Oberfläche zu deponieren.

Eine vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung besteht mithin darin, die Photodiode mit geringer i-Schichtdicke (wie oben genannt) auf einem ASIC zu deponieren, der eine flache Oberflächentopographie besitzt. Dies wird durch den im folgenden erläuterten Herstellungsprozeß sichergestellt. Der ASIC kann, muß aber nicht notwendigerweise mit einer Passivierung beschichtet sein.

Innerhalb der Pixelmatrix sind zunächst die Rückelektroden sämtlicher Bildpunkte über die oberste CMOS-Metallebene miteinander verbunden, welche im Bereich der

Pixelmatrix flächig ausgeführt ist. Diese Metallfläche befindet sich auf einer CMP-planarisierten Oberfläche (CMP = Chemical Mechanical Polishing) der obersten Intermetall-Dielektrikumsschicht. Vor dem Aufbringen der Photodioden wird diese oberste, vergleichsweise dicke Metallschicht des ASIC entfernt und gegen eine im Pixelraster strukturierte Matrix aus dünnen Metallelektroden ersetzt, welche die Rückelektroden der Photodioden bilden. Die oberste Metallisierung des ASIC besteht in der Regel aus einer mehrschichtigen Anordnung, welche eine untere Barrierschicht, z. B. Titannitrid oder Titan, die eigentliche Leitschicht, z. B. Aluminium (-legierungen) und gegebenenfalls eine obere Antireflexionsschicht, z. B. Titannitrid, umfaßt. Zweckmäßigerweise werden die Antireflexschicht (soweit vorhanden) und die Metallschicht komplett über der Pixelmatrix entfernt, so daß lediglich die untere Barrierschicht verbleibt. Diese wird dann im Pixelraster strukturiert und bildet entweder direkt die Pixelrückelektrode, oder sie wird mit einer weiteren Metallschicht, z. B. Chrom, beschichtet, welche nach einem weiteren Strukturierungsschritt die Matrix der Pixelrückelektroden bildet. Alternativ kann auch die untere Barrierschicht komplett entfernt werden, worauf sich dann die Deposition und Strukturierung der weiteren Metallschicht in Form von Pixelrückelektroden anschließt.

Die Prozeßschritte sind im folgenden stichpunktartig zusammengestellt:

1. ggfs. Öffnung der ASIC-Passivierung im photoaktiven Bereich des TFA-Sensors
2. ggfs. Entfernung der Antireflexionsschicht der oberen Metallisierungsschicht des ASIC im photoaktiven Bereich des TFA-Sensors
3. Entfernung der Leitschicht der oberen Metallisierungsschicht des ASIC im photoaktiven Bereich des TFA-Sensors
4. Strukturierung oder Entfernung der unteren Barrierschicht der oberen Metallisierungsschicht des ASIC im photoaktiven Bereich des TFA-Sensors
5. ggfs. Deposition und Strukturierung einer weiteren Metallschicht
6. Deposition und Strukturierung der Photodiodenschichten
7. ggfs. Deposition und Strukturierung weiterer Schichten (z. B. Farbfilterschichten).

Auf diese Weise ist im Bereich der aktiven Pixelmatrix des Sensors eine weitgehend planare Oberfläche gewährleistet, weil der Ätzangriff in die oberste Intermetall-Dielektrikumsschicht auf ein Minimum reduziert wird. Lediglich bei der Strukturierung bzw. Entfernung der unteren Barrierschicht der obersten ASIC-Metallisierungsschicht liegt die CMP-planarisierte Dielektrikumsschicht frei und wird durch den Ätzangriff, welcher sich durch geeignete Wahl der Prozeßparameter minimieren läßt, lokal abgetragen. Abgesehen davon bleibt die flache Oberflächentopographie der CMP-Planarisierung erhalten, so daß eine Beeinflussung des Dunkelstromes der darauf abgeschiedenen Photodioden vermieden wird.

Die Erfindung wird im folgenden anhand einiger Zeichnungen erläutert. Fig. 1 und 2 zeigen eine pin- bzw. eine Schottky-Photodiode mit erfindungsgemäßer intrinsischer

Absorptionsschicht aus amorphem Silizium im Schichtdickbereich zwischen 300 nm und 600 nm. Die folgenden Abbildungen betreffen den o. g. Herstellungsprozeß, welcher eine weitgehend planare Oberflächentopographie gewährleistet. Die Darstellungen enthalten dabei lediglich die obersten Schichten des ASIC, welche für das Interface zu den TFA-Schichten relevant sind. In Fig. 3 ist der Ausgangszustand vor Beginn der TFA-Prozessierung in Form eines passivierten ASICs mit im Bereich der Pixelmatrix geöffneter Passivierung dargestellt. Die Antireflexionsschicht der obersten Metallisierungsschicht des ASIC ist ebenfalls im Pixelbereich entfernt. Der Zustand nach Entfernung der Leitschicht der obersten Metallisierung ist in Fig. 4 festgehalten. Fig. 5 dokumentiert das Ergebnis nach der Strukturierung der unteren Barrierschicht. Hieraus ergeben sich die Pixelrückelektroden, welche anschließend mit dem Mehrschichtsystem aus amorphem Silizium und TCO beschichtet werden (Fig. 6). Fig. 7 und 8 zeigen eine Prozeßvariante, bei der, ausgehend von der Situation nach Fig. 5, die strukturierten Bereiche der unteren Barrierschicht vor der Deposition der Photodiode durch eine weitere strukturierte Metallschicht überdeckt werden. Beginnend mit Fig. 9 ist eine weitere Variante dargestellt, bei der im Anschluß an die in Fig. 4 skizzierte Situation die untere Barrierschicht der obersten Metallisierungsschicht des ASIC komplett entfernt wird. Unmittelbar auf das Intermetall-Dielektrikum erfolgt anschließend die Deposition der weiteren Metallschicht, welche nach Strukturierung die Pixelrückelektroden bildet (Fig. 10). Auf diese werden dann die die Photodiode bildenden Schichten aufgebracht (Fig. 11).

Fig. 1

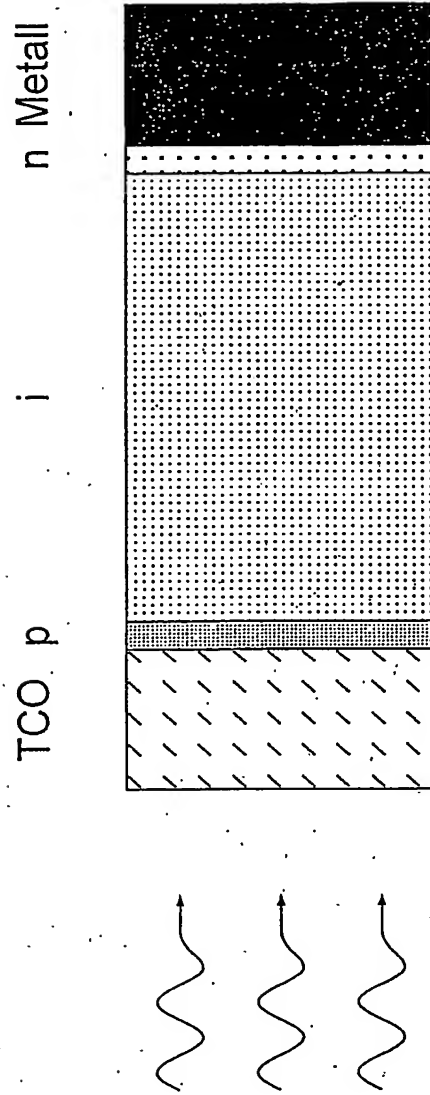


Fig. 2

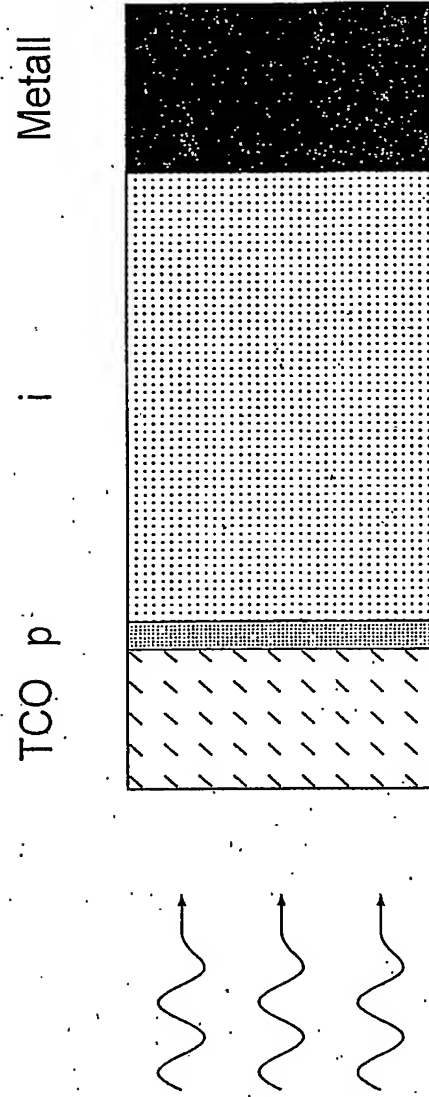




Fig. 3

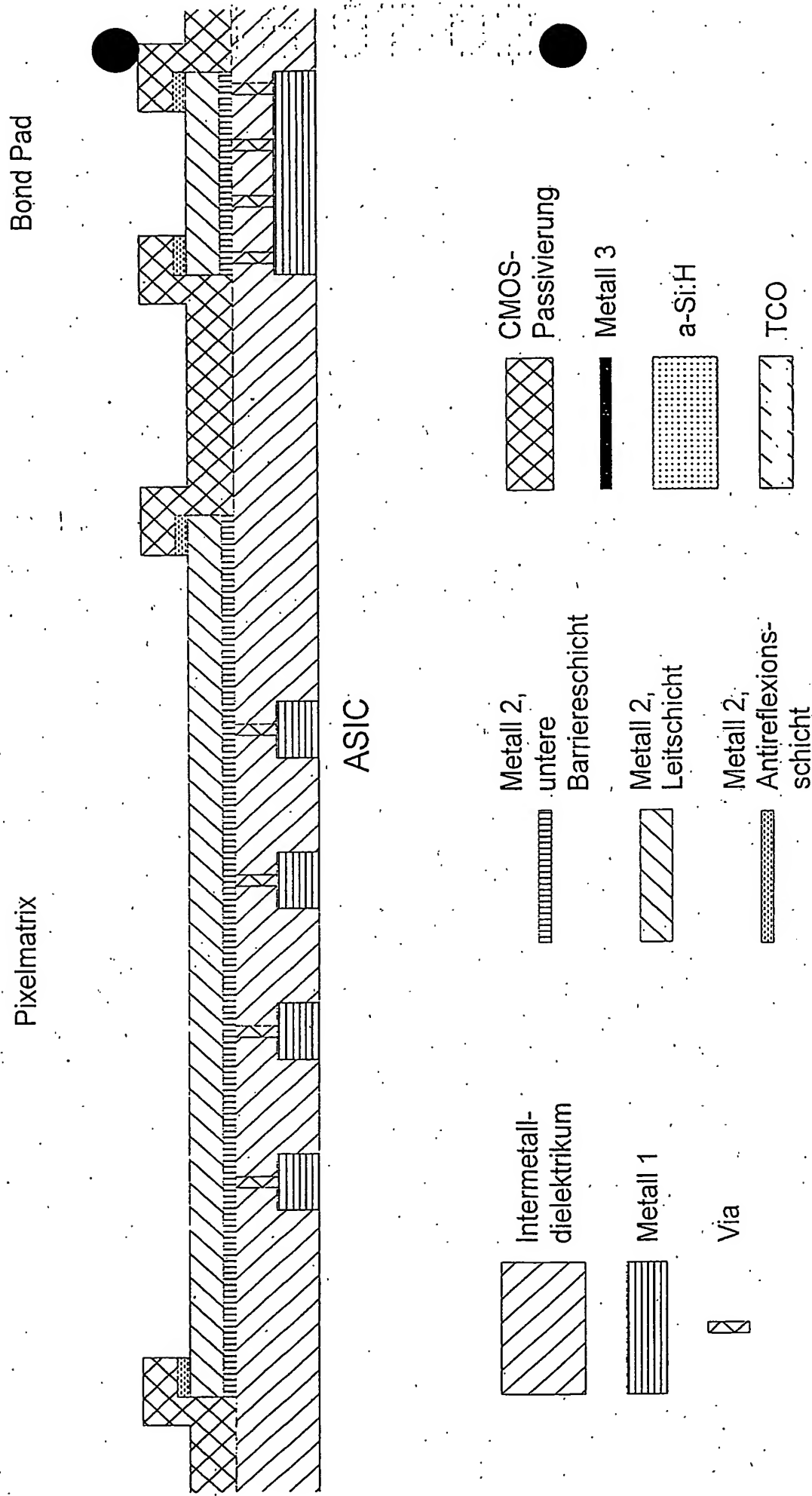


Fig. 4

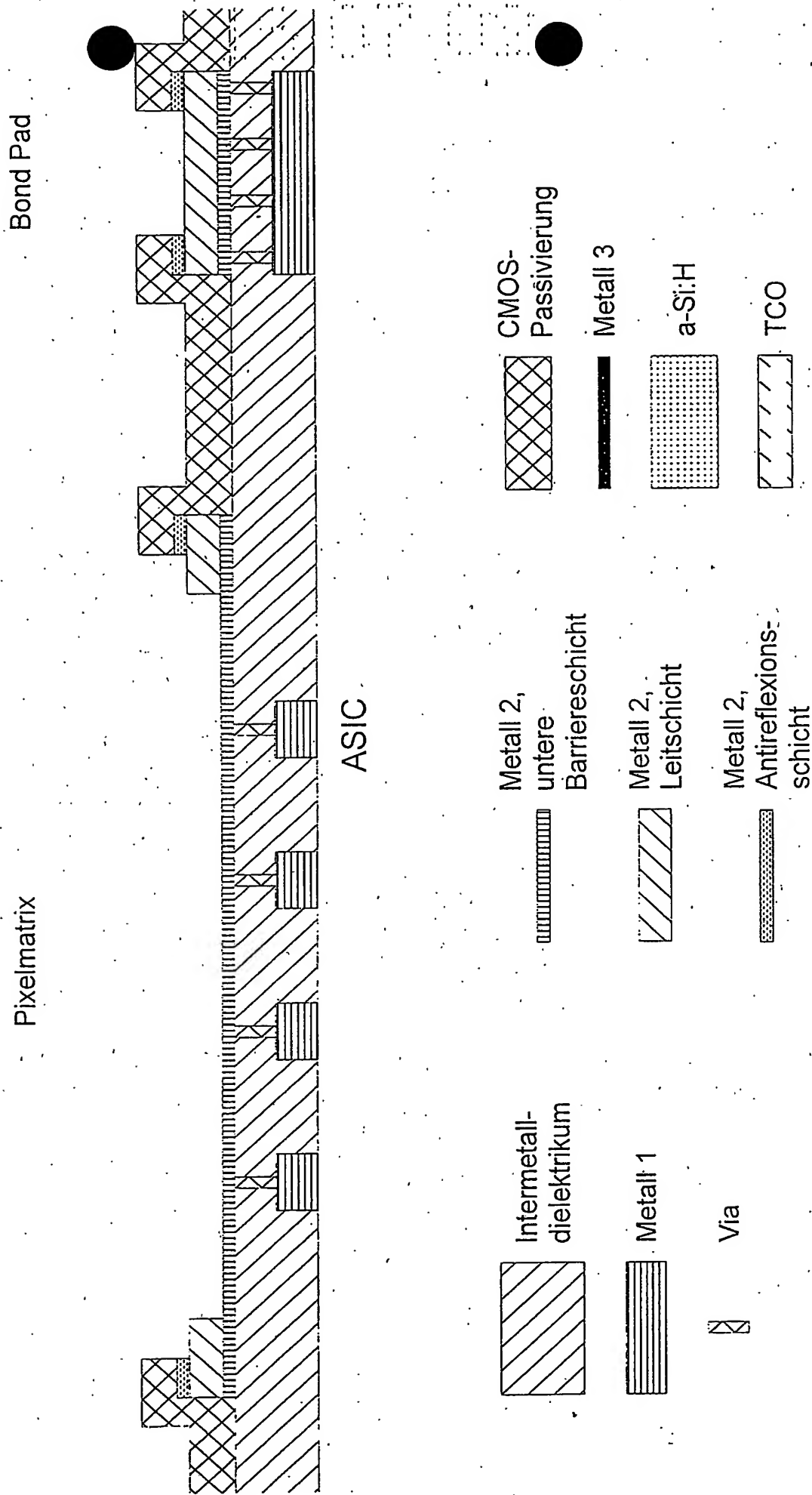


Fig. 5

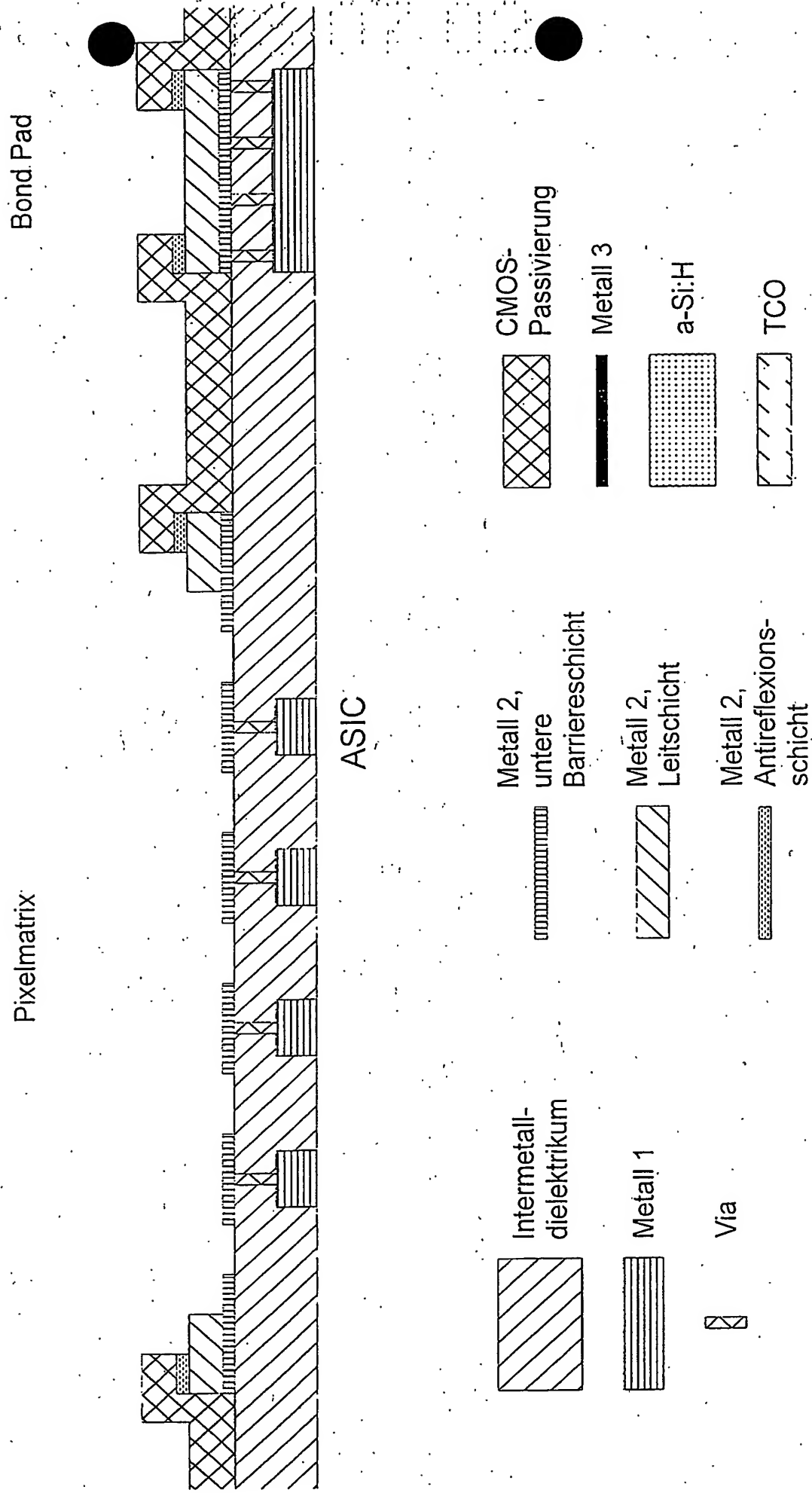


Fig. 6

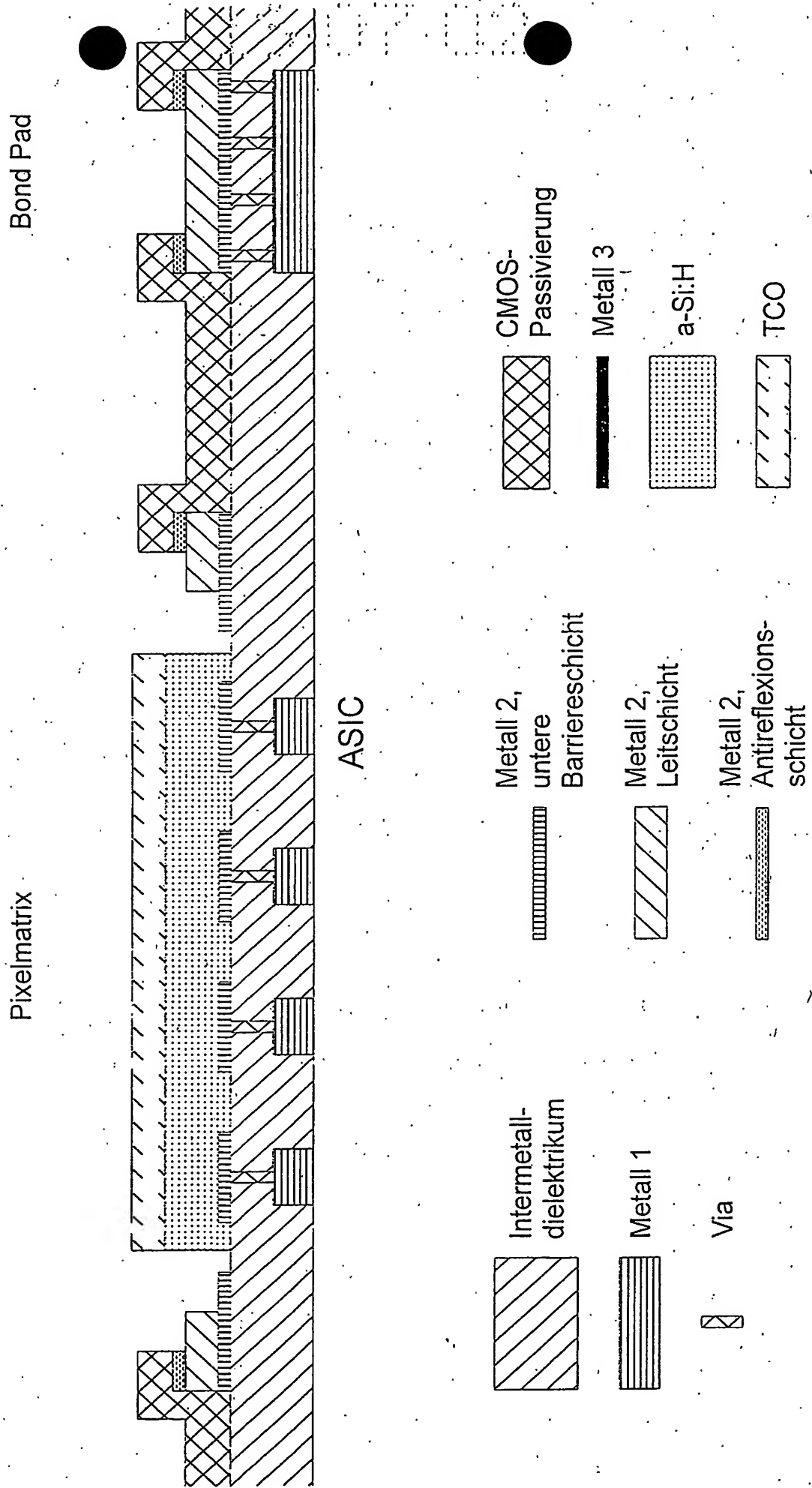


Fig. 7

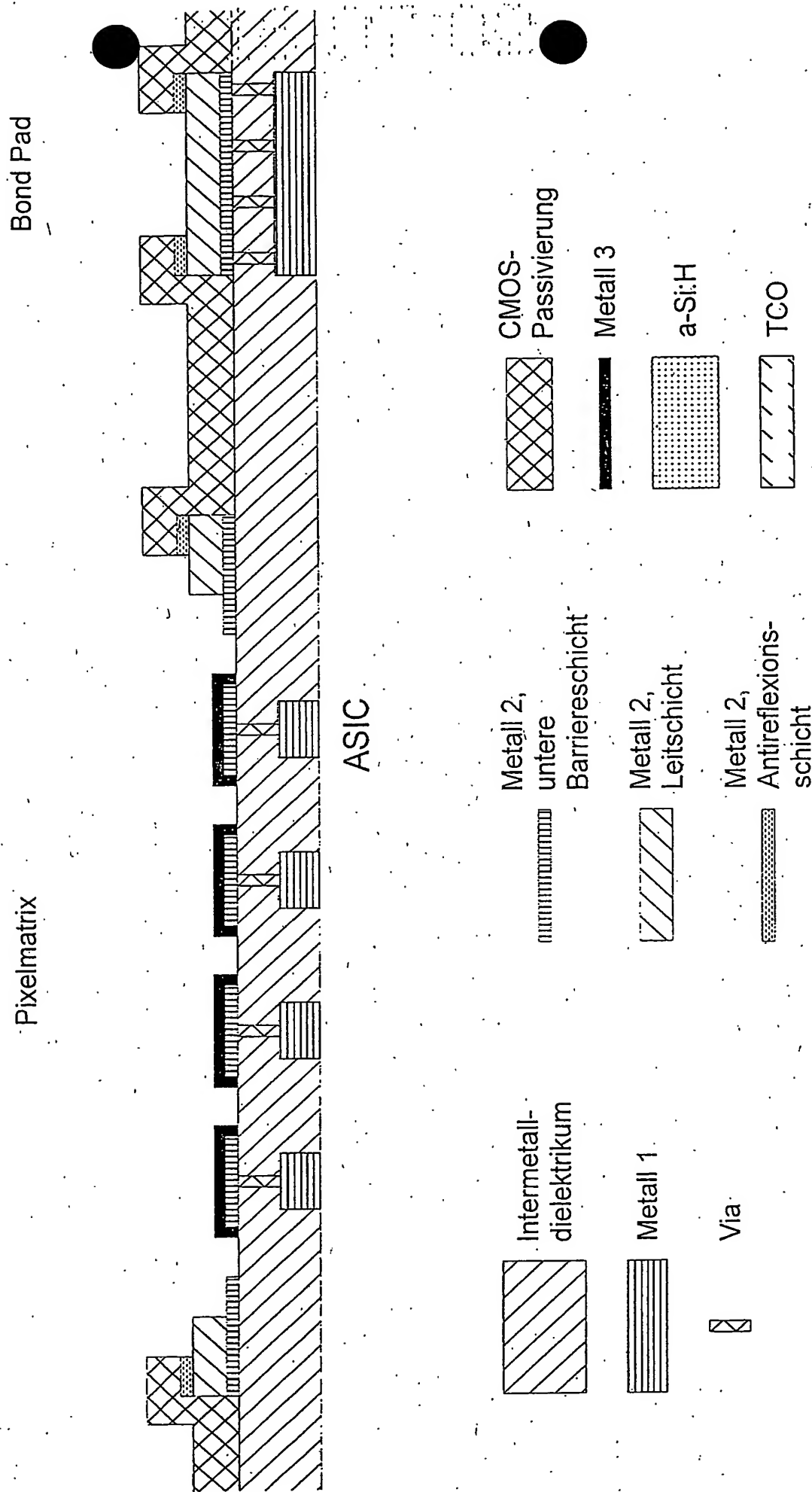


Fig. 8

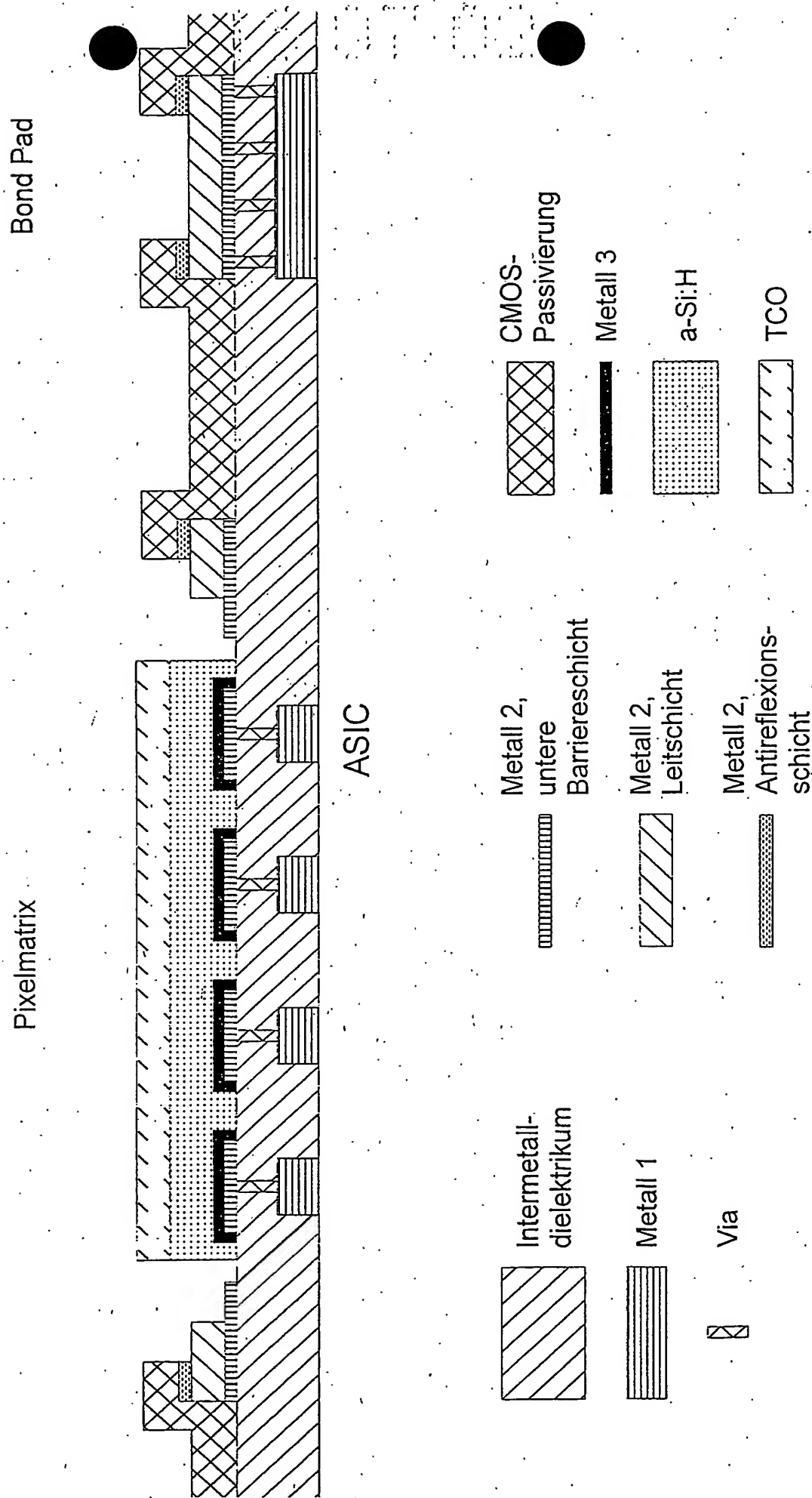


Fig. 9

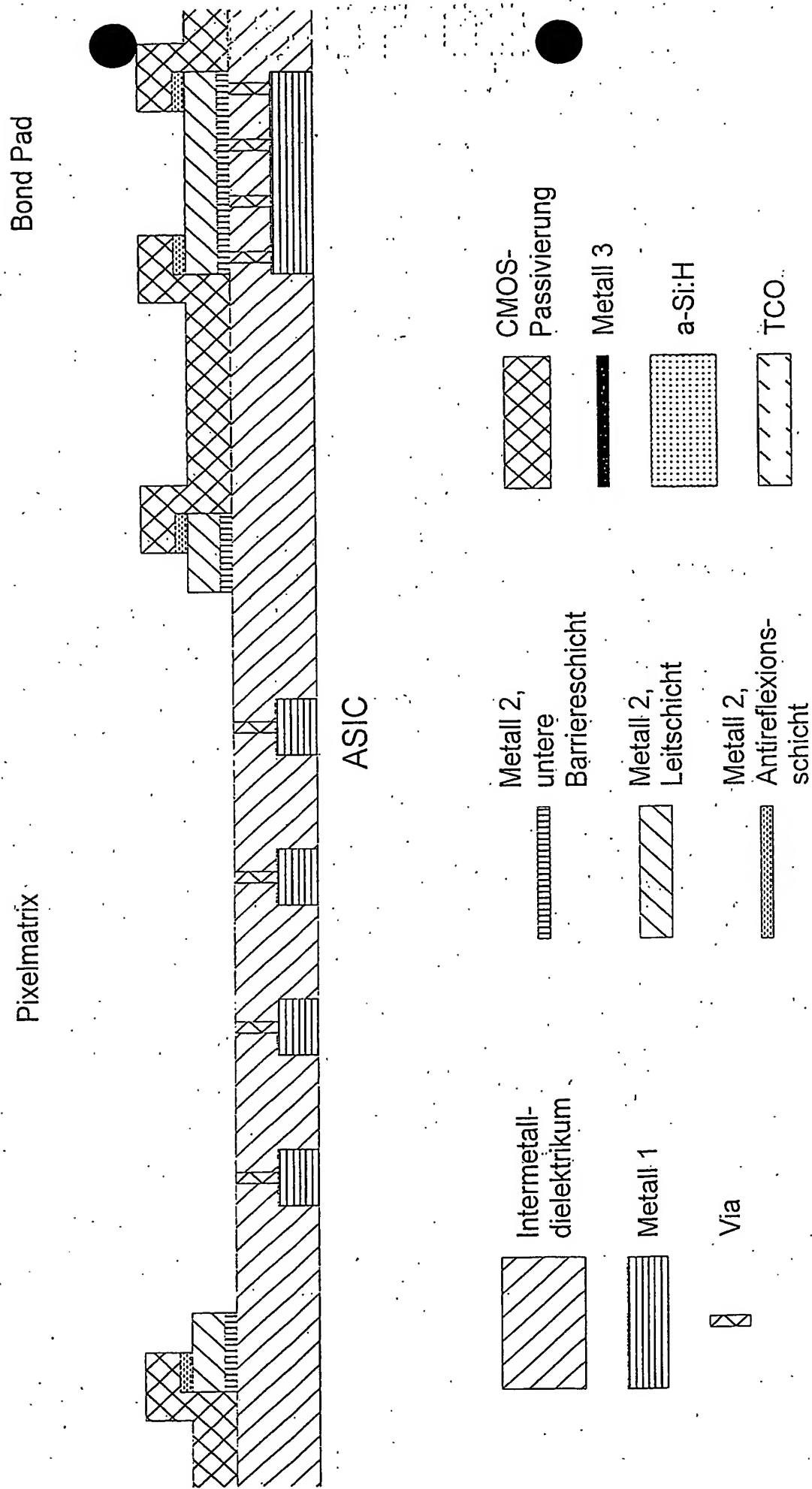


Fig. 10

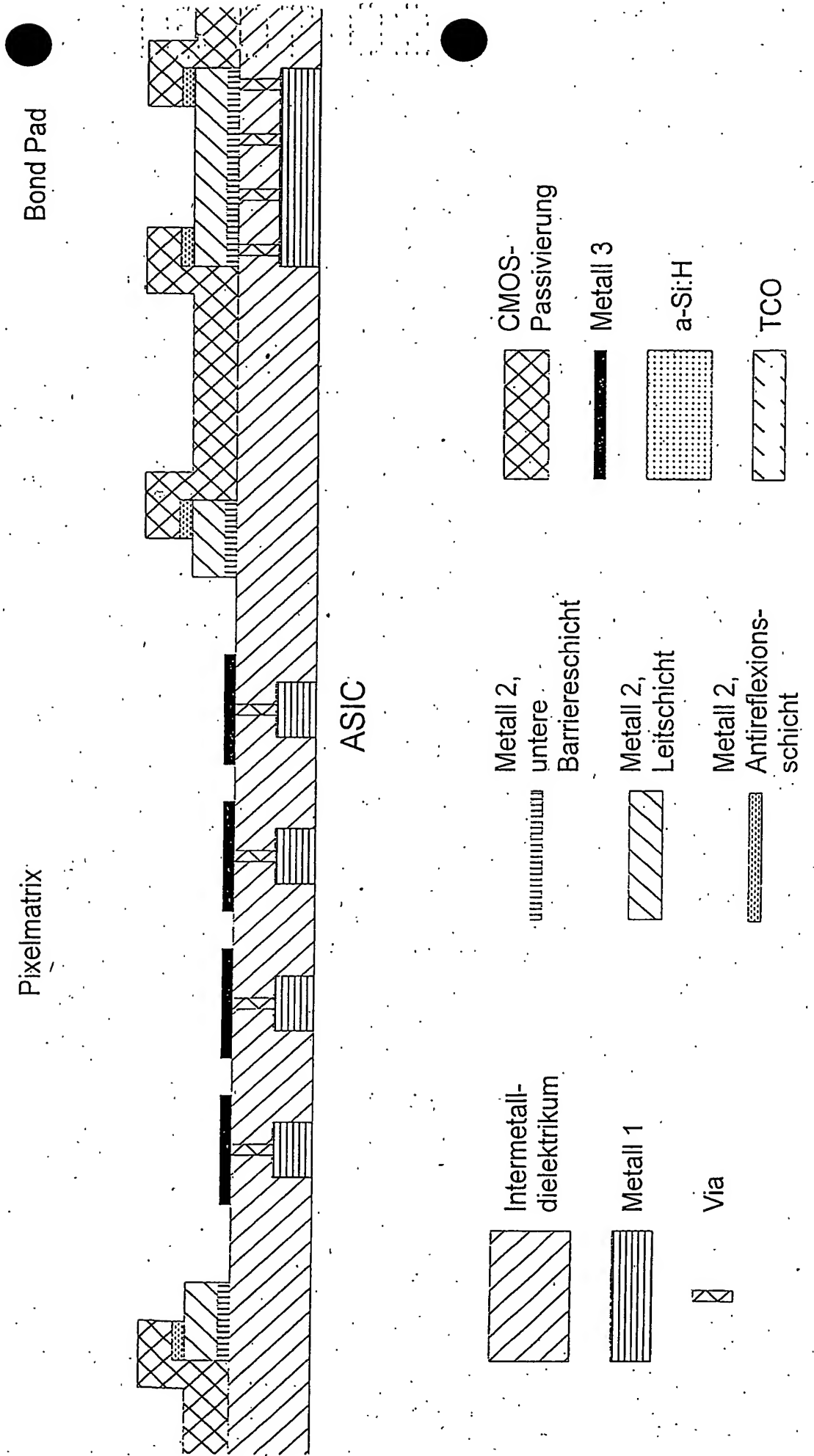
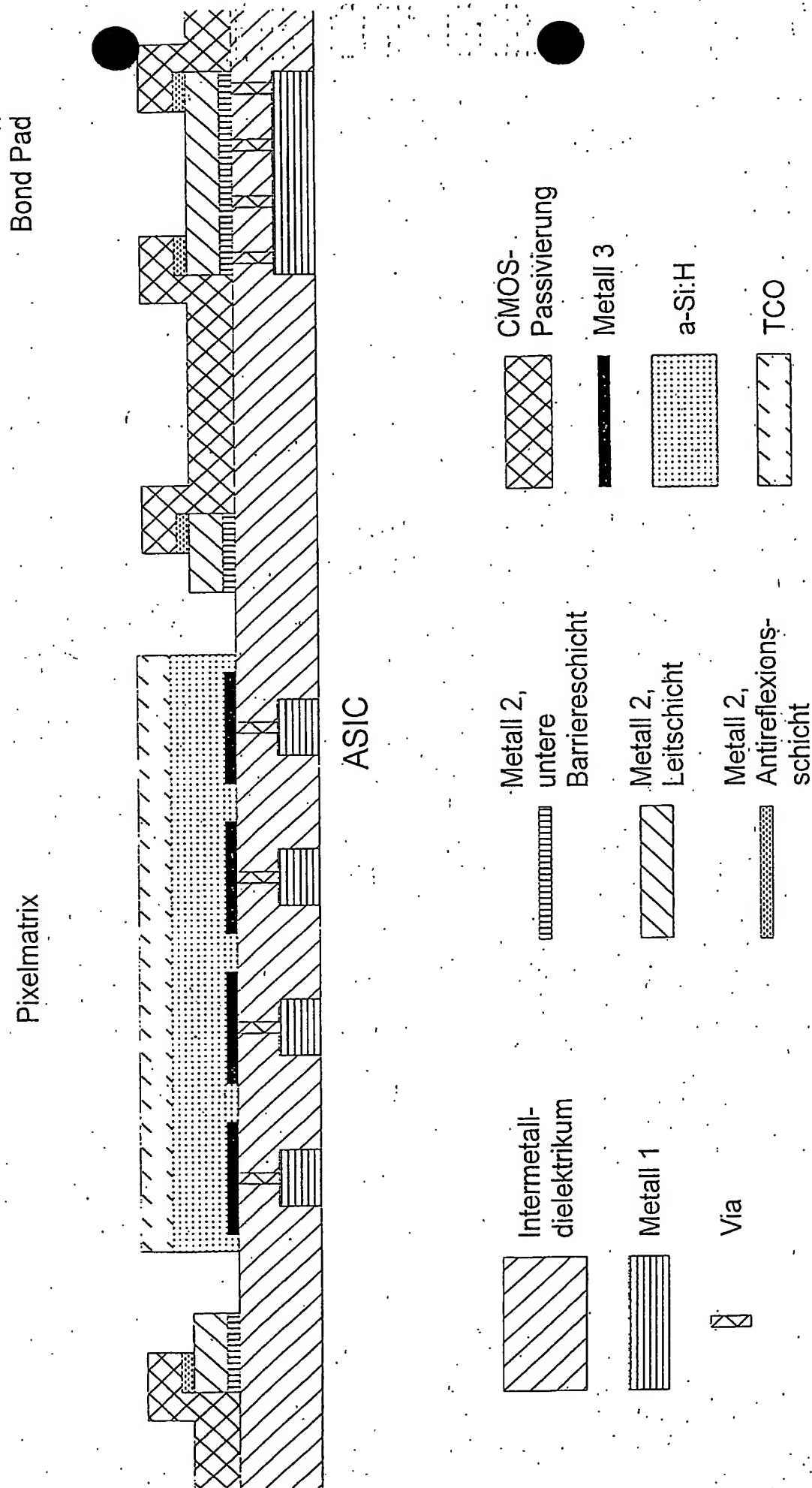




Fig. 11



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☐ BLACK BORDERS

☒ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES

☐ FADED TEXT OR DRAWING

☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING

☐ SKEWED/SLANTED IMAGES

☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS

☐ GRAY SCALE DOCUMENTS

☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT

☒ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY

☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**